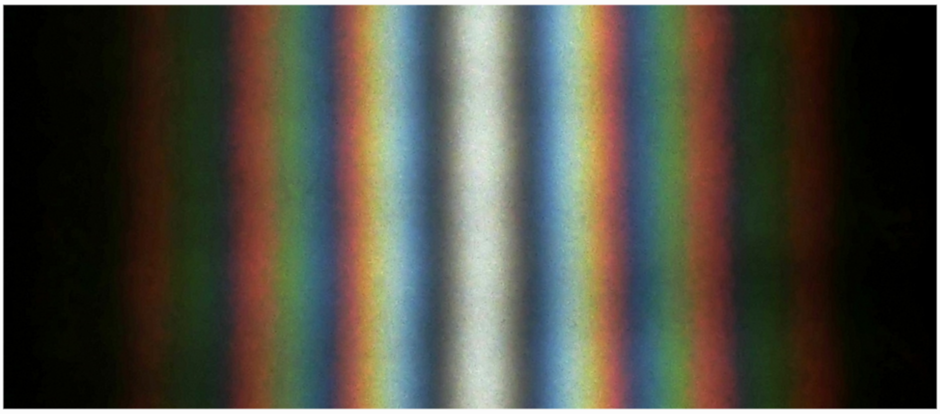
A HISTÓRIA DA LUZ E O NASCIMENTO DA FÍSICA QUÂNTICA



Fundamentos da Óptica na Antiguidade e na Idade Média (século VI a.C. – século XI d.C.)

Algumas das primeiras ideias registradas sobre a natureza da luz surgiram no século VI a.C. Na Índia, por exemplo, a escola filosófica Vaisheshika descreveu a luz como constituída por partículas semelhantes ao fogo que se movem em alta velocidade.

Na Grécia Antiga, os pitagóricos (séculos VI-V a.C.) e, posteriormente, Euclides (c. 300 a.C.) defenderam a teoria da emissão da visão, sugerindo que raios de luz emanam dos olhos em direção aos objetos. Em contraste, Epicuro (341-270 a.C.) propôs uma teoria da intromissão, argumentando que a luz consiste em imagens materiais ou "eidola" emitidas pelos objetos que viajam até os olhos.

Novas descobertas sobre a natureza da luz surgiram no Egito, onde Ptolomeu (c. 90-168 d.C.), trabalhando em Alexandria, realizou experimentos que mostraram que a luz reflete em superfícies lisas e se curva ao passar por materiais transparentes com diferentes densidades ópticas.

Partindo desses conceitos, os estudiosos árabes deram contribuições significativas para a compreensão da luz, estabelecendo princípios fundamentais que regem seu comportamento em lentes, espelhos e prismas. O mais influente entre eles foi o estudioso do século XI, Ibn al-Haytham, que viveu no atual Iraque. Ibn al-Haytham corrigiu a teoria da emissão, afirmando que a visão resulta da entrada da luz no olho, e não de sua emissão.

Debate europeu entre ondas e partículas (século XVII d.C.)

No século XVII, os cientistas europeus estavam divididos entre duas teorias concorrentes sobre a natureza fundamental da luz: se ela se comportava como uma onda ou como uma partícula. O físico holandês Christiaan Huygens argumentava que a luz se propagava como ondas, de acordo com seu princípio da frente de onda, que explicava como as ondas evoluem ao encontrar obstáculos. Em contraste, Isaac Newton propôs uma teoria corpuscular, sugerindo que a luz consiste em partículas que viajam em trajetórias retilíneas, capazes de refletir em superfícies como espelhos. Os experimentos de Newton com prismas, que mostraram a luz branca se dividindo em cores com ângulos de refração distintos, corroboraram sua teoria corpuscular, sugerindo que a luz consiste em partículas de tamanhos diferentes, cada uma correspondendo a uma cor diferente, que se curvam em graus diferentes.

Ambas as teorias, no entanto, eram incompletas. A teoria ondulatória de Huygens tinha dificuldades em explicar completamente por que a luz viaja em linha reta, e a teoria corpuscular de Newton não conseguia explicar a difração, o espalhamento da luz ao passar por bordas ou através de aberturas estreitas. Mesmo assim, a teoria de Newton ganhou influência significativa não apenas por causa de seus engenhosos experimentos com prismas, mas também porque ele era altamente reverenciado na comunidade científica, o que tornou suas ideias difíceis de serem contestadas por anos.

A teoria ondulatória prevalece (1801 – 1888)

Mas a ciência não se curva à reputação. Como Richard Feynman destacou em suas famosas Palestras Messenger de 1964 na Universidade Cornell: “Não importa quão bela seja sua teoria, não importa quão inteligente você seja. Se ela não concordar com o experimento, está errada”. De fato, quase um século após a teoria corpuscular de Newton, de 1704, o consenso científico gradualmente se deslocou para a teoria ondulatória da luz por meio de décadas de experimentos, modelagem e debates. Um dos principais responsáveis por essa mudança foi Thomas Young, um polímata inglês. Em 1801, Young passou a luz solar por uma fenda estreita para produzir um feixe de luz coerente. Em seguida, colocou um obstáculo fino, como um fio de cabelo ou uma tira estreita, no feixe, dividindo-o em duas ondas que se espalharam e se sobrepuseram. Quando essas ondas se recombinaram em uma tela, produziram um padrão de faixas claras e escuras (veja a Figura 1.1). Esse padrão de interferência forneceu evidências claras e convincentes de que a luz se comporta como uma onda, e não como uma partícula.

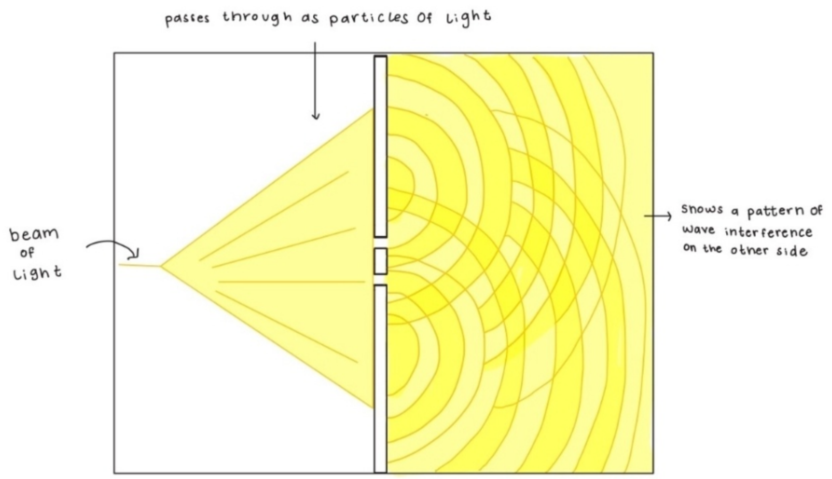


Figura 1.1: Simulação do padrão de interferência produzido quando a luz que viaja da esquerda para a direita passa por uma fenda dupla. Ilustração de Serena Krejci-Papa .

Um exemplo comum desse fenômeno ocorre quando ondas na superfície da água se combinam para formar picos maiores ou se cancelam mutuamente. Mais tarde, em 1845, outro físico inglês, Michael Faraday, demonstrou que campos magnéticos podiam alterar o plano de polarização da luz, revelando uma conexão entre luz e eletromagnetismo. Na década de 1860, o físico escocês James Clerk Maxwell aprofundou essa conexão ao formular a teoria do eletromagnetismo, descrevendo a luz como uma onda eletromagnética composta por campos elétricos e magnéticos oscilantes em ângulos retos entre si e em relação à direção de propagação da onda. A confirmação experimental das previsões de Maxwell por Heinrich Hertz na década de 1880 forneceu uma validação adicional à teoria ondulatória eletromagnética da luz.

Ressurgimento da teoria das partículas (1900 – 1923)

Na década de 1890, a descrição matemática das ondas eletromagnéticas feita por Maxwell era considerada tão bem-sucedida, particularmente por seu poder preditivo, que muitos físicos acreditavam que a natureza fundamental da luz estava completamente compreendida. Mas, no início do século XX, descobertas experimentais começaram a desafiar esse consenso. A teoria das ondas eletromagnéticas não conseguia prever como a matéria emite e absorve radiação em equilíbrio térmico. Para abordar essa questão, o físico alemão Max Planck introduziu uma ideia revolucionária conhecida como quantização da energia. Ele propôs que a radiação eletromagnética é emitida ou absorvida em quantidades discretas, agora chamadas de quanta, com a luz de frequência mais alta correspondendo a quanta maiores. Sua teoria correspondeu com precisão aos resultados experimentais e lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física em 1918.

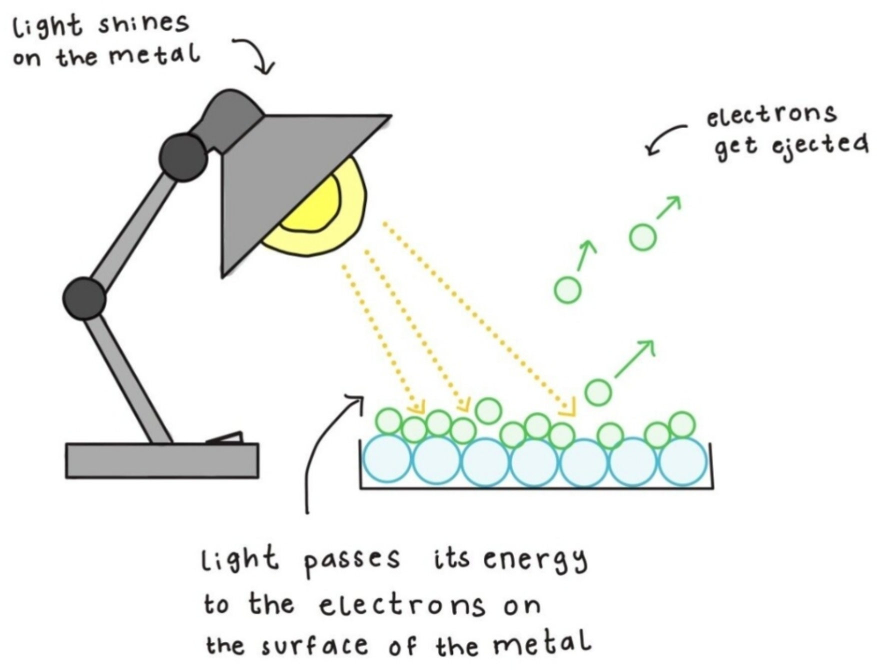


Ilustração de Serena Krejci-Papa .

Outro grande golpe para a teoria ondulatória da luz veio do efeito fotoelétrico, observado pela primeira vez por Heinrich Hertz em 1887, quando a luz ultravioleta causou a emissão de carga elétrica de uma superfície metálica (ver Figura 1.2). Em 1900, Philipp Lenard realizou experimentos detalhados para demonstrar que a energia dos elétrons ejetados dependia da frequência da luz, e não da intensidade, uma observação que a teoria ondulatória clássica tinha dificuldade em explicar. Em 1905, Albert Einstein abordou essa questão propondo que a luz é composta de pacotes discretos de energia, agora chamados de fótons, cada um carregando uma energia proporcional à sua frequência, de acordo com a regra de quantização de Planck. Essa ideia explicou com sucesso o efeito fotoelétrico e foi posteriormente confirmada pelos experimentos de Robert Millikan em 1915, que verificaram que a energia dos elétrons ejetados depende da frequência da luz e que a intensidade afeta apenas o número de elétrons ejetados. A explicação de Einstein lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1921. A existência do fóton foi ainda mais reforçada em 1923 pelo físico americano Arthur Compton, que mostrou que os raios X se dispersam ao colidirem com elétrons e emergem com frequências menores (ver Figura 1.2).